PEIRCE Y LA TEORÍA DEL CAOS

Darin McNabb Costa
Instituto de Filosofía, Universidad Veracruzana, México
dcosta@uv.mx

Al final de su escrito "La arquitectura de teorías", en el que afirma que el azar y la continuidad son dos de las ideas más fundamentales sobre las que construir una teoría filosófica compatible con la ciencia moderna, Charles Sanders Peirce dice lo siguiente:

> He desarrollado esta idea con elaboración. Explica los rasgos principales del universo tal como lo conocemos–los caracteres del tiempo, el espacio, la materia, la fuerza, la gravitación, la electricidad, etc. Predice muchas más cosas de las que sólo nuevas observaciones pueden probar. Que algún alumno del futuro revise este terreno nuevamente, y que tenga el ocio de dar sus resultados al mundo.

Muy humildemente, creo ser uno de esos alumnos del futuro. Hoy les quiero presentar algunos resultados del trabajo científico contemporáneo, específicamente de la teoría de caos, que a mi juicio proporcionan pruebas inductivas muy fuertes para el esquema metafísico de Peirce.

Como sabemos, la metafísica de Peirce es una metafísica evolutiva. Para poder explicar el crecimiento y la aparición de novedades en el cosmos tenemos que rechazar cualquier versión de determinismo. En su lugar, y siguiendo la pauta de su análisis categorial, ofrece una visión caracterizada por una curiosa combinación entre el azar y la ley. Dice:

> Así que, estos dos elementos, por lo menos, existen en la naturaleza, la Espontaneidad y la Ley. Ahora bien, pedir que la espontaneidad se explique es ilógico, y de hecho absurdo. Pero explicar algo es mostrar cómo pudo haber sido resultado de alguna otra cosa. La Ley, entonces, debería explicarse como resultado de la Espontaneidad. Ahora, la única manera de hacer eso es mostrar, de alguna manera, que la ley puede haber sido producto del crecimiento, de evolución.[1]

Discutir las determinaciones especulativas y altamente abstractas de las categorías en la metafísica de Peirce lleva a uno a sentirse abrumado por una cierta vaguedad que se origina no sólo de la naturaleza difícil y abstracta del tema sino de las mismas palabras que Peirce utiliza para describirlo. Así que, un análisis de la teoría del caos puede proporcionar no sólo cierto refuerzo para su metafísica sino también ejemplos concretos de su funcionamiento en el mundo que los científicos investigan.

---

[1] Richard S. Robin, *Annotated Catalogue of Charles Sanders Peirce*, (Amherst: University of Massachussetts Press, 1967), 950.00010-11.

La teoría del caos es un campo de estudio relativamente nuevo que puede definirse como "el estudio cualitativo de la conducta periódica e inestable en sistemas dinámicos deterministas y no-lineales".[2] Pasemos a cada uno de los términos en esta descripción para esbozar la visión general de lo que la teoría del caos estudia.

Primero, es el estudio de *sistemas dinámicos*. Un sistema es cualquier cosa o proceso particular en el que un científico está interesado. Está compuesto de un número de variables, variables que el científico identifica y que definen los parámetros del sistema. Al asignar valores cuantitativos a estas variables para un momento dado, el científico puede crear una "imagen" matemática del sistema. Un sistema dinámico es simplemente un modelo matemático que describe la variación de esta "imagen" sobre el tiempo. Las variables que constituyen la mayoría de los sistemas dinámicos cambian de una manera equilibrada y continua y, por ende, son expresadas simplemente utilizando ecuaciones diferenciales. Saber el estado del sistema en un momento dado es suficiente para predecir su estado en un momento futuro.

Los sistemas que le interesan a los teóricos del caos son los sistemas no-lineales. Un sistema *lineal* es uno en el que causa y efecto están relacionados de una manera proporcionada. Si cambia una de las variables, un efecto correspondiente y proporcionado surgirá en un estado futuro en el sistema. En los sistemas *no-lineales* no hay ninguna relación sencilla entre causa y efecto. Un cambio en una de las variables puede afectar, de manera desproporcionada, el valor de otra tal que para dos variables con trayectorias inicialmente cercanas, el comienzo de turbulencia puede hacer que una se diverja radicalmente de manera no predecible por la física clásica. El motor de la no-linealidad es lo que se conoce como *iteración* o el fenómeno de *retroalimentación positiva*. El chirrido caótico de un micrófono ubicado demasiado cerca de una bocina es un ejemplo de iteración. Mientras cambia el sistema sobre tiempo, las variables se retroalimentan a sí mismas. Salida se vuelve en entrada y la multiplicación exponencial repetida de las variables sobre sí mismas hace que el sistema se comporta de manera caótica.

Entonces, la teoría del caos es un *estudio cualitativo*, pues la no-linealidad hace que las soluciones nítidas apropiadas para sistemas lineales sean imposibles para sistemas no-lineales. En lugar de entender la conducta de un sistema de manera cuantitativa, de modo que se pueda determinar los estados exactos del sistema en el futuro, la teoría del caos se ocupa de entender la conducta a largo plazo, de buscar patrones sobre una escala holística en lugar de una reductiva.

Nuestra definición está casi completa. Aunque la conducta de casi cualquier sistema dinámico puede ser descrita cualitativamente, la teoría del caos se ocupa de sistemas que son inestables y aperiódicos. Un ejemplo sumamente sencillo de un sistema estable sería un tazón con una canica en su fondo. Si desplazas la canica y la mueves al borde del tazón y luego la sueltas, regresará al fondo. Resiste pequeñas perturbaciones en su equilibrio. Por el otro lado, un sistema inestable es uno cuya conducta no resiste

---

[2] Stephen H. Kellert, *In the Wake of Chaos*, (Chicago: The University of Chicago Press, 1993), p. 2.

cambios pequeños. En lugar de ser absortos, puede ser que las perturbaciones condujeran a un estado en el futuro donde el sistema muestra conducta caótica. Adicionalmente, los teóricos del caos se ocupan de la *aperiodicidad*. En los sistemas aperiódicos las variables nunca caen en un patrón regular de repetición sino que parecen divagarse de manera aparentemente aleatoria. Matemáticamente, el caso paradigmático de esto es el valor matemático de pi: no tiene un valor definido ni un patrón repetible. Entonces, la conducta inestable y aperiódica es, como el matorral, muy compleja. No tiene un patrón repetible y manifiesta aún los cambios pequeños en su equilibrio.

Así como Kellert lo describió, la teoría del caos es el estudio cualitativo de conducta aperiódica e inestable en sistemas dinámicos deterministas y no-lineales. El último término para nuestra consideración es *determinista*. En cuanto a los demás términos parece un poco fuera de lugar, pero es este mismo hecho el que hace que la teoría del caos sea un campo fascinante de investigación. Estos teóricos no se ocupan de una clase exótica de fenómenos físicos, sino de sistemas dinámicos común y corrientes tales como agua goteando de una llave o los latidos del corazón. Se puede describir estos procesos utilizando modelos rigurosos y matemáticamente deterministas. Sin embargo, dadas ciertas condiciones, tales como un aguacero sobre un río, la conducta predecible se convierte repentinamente en caótica e impredecible. A fin de cuentas lo que la teoría del caos quiere proporcionar es una explicación del surgimiento de la conducta compleja en sistemas ordenados y simples.

El espacio de fase y el trazo de sistemas dinámicos

Como he mencionado, la manera en que la teoría del caos explica esto es cualitativa. Donde la ciencia tradicional mete números en ecuaciones, los teóricos del caos trazan un mapa. El tipo de mapa que trazan es uno que corresponde a lo que los científicos llaman el *espacio de fase* de un sistema. En realidad, evaluando la conducta de un sistema trazando un mapa de su espacio de fase es una técnica común a un amplio rango de disciplinas científicas. Pero es el tipo de espacio que los teóricos del caos han podido concebir, con la ayuda de computadoras, que hacen que sea diferente su análisis. El espacio de fase de un sistema es un espacio matemático de *n* dimensiones donde se trazan un número suficiente de las variables que lo constituyen de tal modo que se puede describir su movimiento, es decir, cómo sus variables cambian sobre el tiempo. Como dice James Gleik,

> En el espacio de fase el estado completo de conocimiento sobre un sistema dinámico en un momento dado se reduce a un punto. Ese punto es el sistema dinámico – en ese instante. En el próximo instante el sistema habrá cambiado, por muy poquito que sea, y entonces el punto se mueve. Se puede trazar la historia del sistema al fijarse en ese punto en movimiento, trazando su órbita por el espacio de fase sobre el transcurso del tiempo.[3]

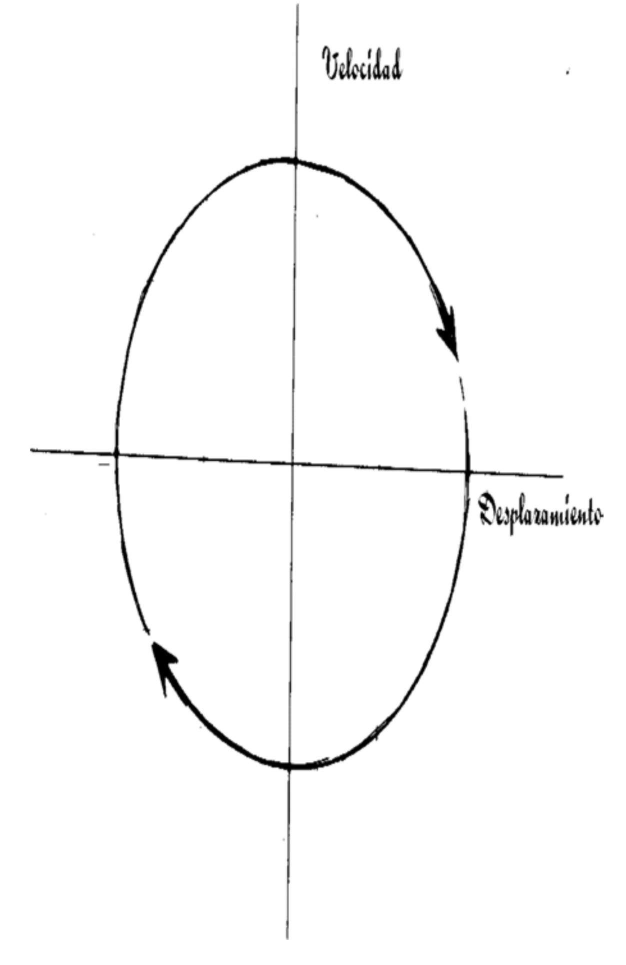
---

[3] James Gleik, *Chaos: Making a New Science*, (New York: Viking Penguin, 1987), p. 134.

Por ejemplo, la trayectoria de un cohete despegando hacia el espacio tendría, como variables, desplazamiento y velocidad. En la vida real la trayectoria (la línea de su vuelo) es una línea recta, pero como es trazada en el espacio de fase, la trayectoria gira y da vueltas debido a las diferentes etapas de combustión y los efectos variantes de la gravedad. Lo que el espacio de fase le da al científico es un modelo para entender cómo las variables cambian sobre el tiempo. Las variables trazadas describen "la figura" de la conducta global del sistema.

La figura que los investigadores de los sistemas dinámicos buscan es lo que llaman, más técnicamente, un *atractor*. Al definir los parámetros del atractor de un sistema, un científico puede predecir cómo será la futura conducta del sistema. Pero ¿qué es un atractor? Como los mapas del espacio de fase, los atractores son una parte normal del método de la investigación científica tradicional. Antes del advenimiento de la teoría del caos, se había identificado y utilizado tres tipos generales de atractores en el estudio de los sistemas dinámicos: punto fijo, ciclo limitado, y torus. Un examen de los tres nos ayudará a entender el nuevo tipo de atractor que les interesa a los teóricos del caos.

Un *atractor de punto fijo* describe un sistema que es estable y rigurosamente periódico. Un ejemplo sería un péndulo oscilando en un vacío. Si definimos como las variables la velocidad y el desplazamiento, lo que resultaría es un mapa tal como se encuentra en la **Figura A**:



Puesto que no hay fricción en este sistema, los valores para el desplazamiento y la velocidad quedan constantes, es decir, periódicos. La conducta de este sistema es fija; con la excepción de alguna influencia ajena, nunca cambiará. El círculo inscrito por las variables en el gráfico es lo que los científicos llaman el atractor del sistema. Es decir, la dinámica del sistema afecta a las variables de modo que sus valores constantemente convergen en el mapa del espacio de fase de un circulo perfecto. Si le diera un choque al sistema y el desplazamiento se aumentara en algún punto, el atractor quedaría todavía sin ser afectado; sería más grande pero todavía sería un círculo. Para un péndulo en el mundo real, donde la fricción juega un papel, el atractor es también un punto fijo, como en la Figura B. Empezando con un desplazamiento y velocidad inicial, la trayectoria se moverá en espiral hacia adentro en el espacio de fase hasta que encuentre la intersección de los dos ejes. Este es el punto hacia el cual el sistema es atraído, lo que quiere decir que su conducta tiende hacia un punto fijo, un estado de descanso completo.

La siguiente etapa de complejidad en la dinámica de sistemas se define por el atractor del ciclo limitado. Tal sistema no tiende hacia un sólo estado, sino que se mueve cíclicamente en una trayectoria formada por dos puntos. Un ejemplo clásico de esto es el sistema depredador/presa que se encuentra en las poblaciones silvestres. Tomamos como ejemplo las poblaciones de truchas y lucios en un lago. Si inicialmente las poblaciones empiezan iguales, al pasar el tiempo la población de los lucios crecerá mientras se alimentan de la trucha, y correspondientemente la población de las truchas se reducirá. Mientras declinan las truchas la aumentada población de los lucios encontrará su abastecimiento de comida disminuida, entonces algunos empezarán a morir. Mientras los lucios mueren las truchas se recuperan lentamente hasta que la población de ambas especies es de nuevo igual. Vemos claramente que las poblaciones nunca logran un estado fijo sino más bien oscilan entre dos límites de población. Para cualquiera de las poblaciones el atractor en el espacio de fase se asemeja a una ola sinodal estándar.

Si aumentamos la complejidad de la conducta aún más, resulta un tipo de atractor todavía más sofisticado. Si incluimos en nuestro marco de referencia dos ciclos limitados en interacción el uno con el otro, la graficación de su dinámica en el espacio de fase produce un atractor con la figura matemática de un *torus*. De hecho, es este tipo de atractor el que se utiliza para modelar las órbitas gravitacionales de los cuerpos celestiales, como los planetas. Para dos sistemas cualesquiera, por ejemplo dos planetas, que están en interacción uno con el otro, el atractor de torus es suficiente para describir su conducta. Pero como demostró Poincaré, si se hace más complejo, por la introducción de un tercer cuerpo por ejemplo, esto distorsiona los resultados de un análisis tradicional y hace que la predicción exacta sea imposible. En términos del espacio de fase, no se puede describir el tipo de conducta manifiesta en el problema de tres cuerpos utilizando el atractor torus. Tradicionalmente han tratado esta turbulencia en las ecuaciones de una manera reduccionista, al reducir las variables en un cálculo aislado de series emparejadas, y luego regraficándolas en la superficie del torus, con la esperanza de que los ajustes en las ecuaciones no afectarán la estabilidad global del atractor. Esta estrategia es exitosa, pero limitada. Hace factibles las predicciones a corto plazo, pero deja como aparentemente indeterminable aquellas a largo plazo.

La perfección aristotélica estática de la esfera celestial ha dado paso, ya desde hace mucho tiempo, a la concepción de ella como dinámica y cambiante. La visión que Poincaré tuvo respecto al problema de los tres cuerpos dio evidencia de esto, pero aún más, desafió las suposiciones básicas de la visión newtoniana del universo como completamente ordenado, determinista, y predecible. Pero un detractor puede persistir en concebir la conducta caótica y turbulenta como información muy compleja en espera de una comprensión vía herramientas analíticas más refinadas. Si fuera cierto esto, haría de lo que la teoría del caos dice sobre el universo un tema muy interesante de discusión, pero de ninguna manera revolucionario o paradigmatico. Trataré este asunto enseguida, pero primero quiero discutir el tipo de atractor que los teóricos del caos han encontrado para modelar la conducta caótica. Puede ser que sea la misma herramienta analítica refinada que el detractor espera, pero tiene implicaciones que sugerirán una reconcepción fundamental de la dinámica del universo.

Atractores extraños

Como he afirmado, lo que les interesa a los teóricos del caos es un entendimiento de la dinámica de un sistema que puede cambiar de la linealidad ordenada a la turbulencia y el caos. El ejemplo paradigmático de esto es el flujo del agua en un río. Inicialmente su flujo puede ser completamente determinista, pero mientras aumentan su volumen y velocidad, vórtices y remolinos aparecen, tejiéndose los unos con los otros. La complejificación creciente puede ser modelada utilizando la serie de atractores descritos arriba. Empezando con un atractor de punto fijo, el flujo salta al del ciclo limitado. Del ciclo limitado se transforma en una situación donde las trayectorias describen la superficie de un torus. De aquí, si se persiguiera el modelo newtoniano, uno esperaría que el torus se transformara en dimensiones matemáticas más altas. Lo que los teóricos del caos han encontrado es que, en lugar de ser modelado por dimensiones cada vez más altas en el espacio de fase, la conducta caótica es modelada por una dimensión *fractal*, es decir, un espacio entre dos y tres dimensiones.

Para ilustrar esto quiero describir el trabajo pionero de Edward Lorenz, el padre de la teoría del caos. En 1960, Lorenz usaba computadoras para ayudarse en la solución de ecuaciones matemáticas que modelaban la atmósfera de la Tierra. Al hacer un pronóstico meteorológico introdujo datos para varias variables y acabó con una predicción del futuro estado del tiempo. Más tarde, queriendo aclarar algunos detalles, regresó a su predicción y reintrodujo los datos sobre las variables del sistema. La primera vez, introdujo los números hasta el sexto decimal. Pero esta vez redondeó a solo tres decimales. Cuando regresó para chequear los resultados de la segunda prueba encontró una predicción *completamente distinta*. Como concluyó,

Esto implica que dos estados que se difieren por cantidades imperceptibles pueden evolucionar eventualmente en dos estados considerablemente diferentes. Entonces, si hay cualquier error al observar el estado actual – y en cualquier sistema real

tales errores parecen inevitables – puede que un pronóstico aceptable en un futuro lejano sea imposible.[4]

Si el tiempo en el mundo real se comportara como el modelo de la computadora, los pronósticos meteorológicos más allá de unos cuantos días serían imposibles.

Lo que Lorenz descubrió es una de las características definitorias de la teoría del caos, que sistemas dinámicos no lineales muestran una *dependencia sensible sobre condiciones iniciales*. Este concepto se ilustra en la célebre noción del "efecto de mariposa", que quiere decir que el aletear de una mariposa en Argentina hoy, podría causar un tornado en Kansas mañana. Quizás sea un poco sensacional esta imagen, pero lo que ilustra es que no se puede entender los sistemas dinámicos en la naturaleza al aislarlos de los sistemas dinámicos del mundo entero. En otras palabras, ya no es viable la concepción del mundo como la suma de sus partes porque las partes son sensiblemente conectadas y dependientes la una a la otra. La visión que esto introduce es una holista y dinámica en lugar de una reductivamente determinista.

Con esta realización, Lorenz empezó a buscar otra manera de modelar el sistema del tiempo. En lugar de un acercamiento cuantitativo, cuyos límites prácticos apenas había visto, intentó uno cualitativo. Antes de eso, los meteorólogos usaban ecuaciones que producían atractores de torus multidimensionales, pero la capacidad previsora que esto ofreció extendió a unos días nada más. Lo que Lorenz pudo hacer, con la ayuda de la enorme capacidad de calcular de la computadora, fue trazar las trayectorias complejas de sus ecuaciones no-lineales. El resultado fue uno de los descubrimientos más fascinantes de la teoría del caos: el *atractor extraño*:

---

[4] Edward Lorenz, "Deterministic Nonperiodic Flow" en *Journal of the Atmospheric Sciences* (20, 1963), p. 133.

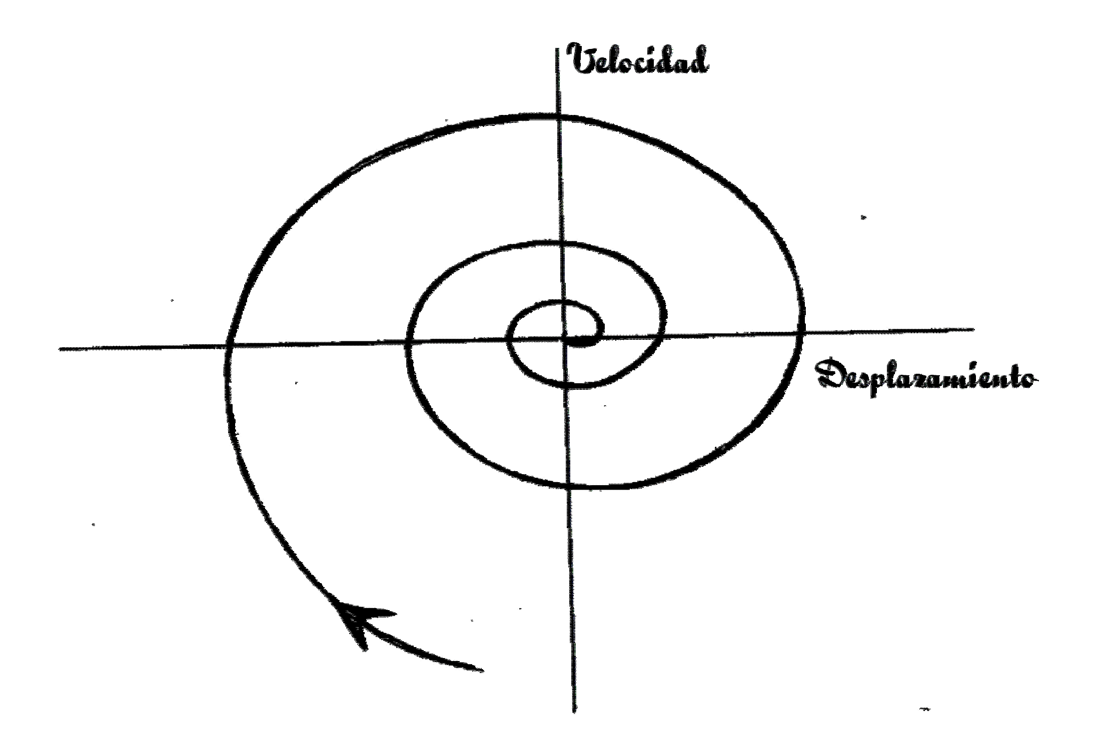


FIGURA B

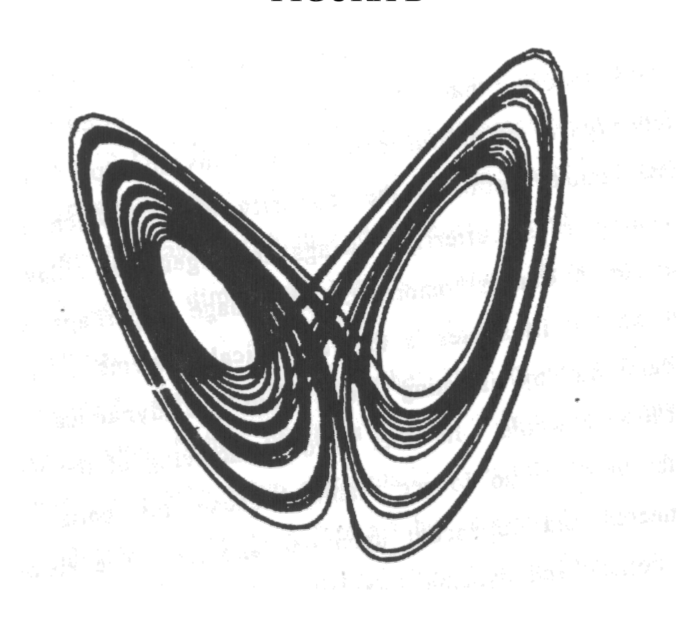


FIGURA C

El atractor se llama extraño porque reconcilia dos características aparentemente contradictorias: modela la conducta que es aperiódica, y a la vez delimitada dentro de un área finita del espacio de fase. Recordemos que la aperiodicidad se refiere al hecho de una variable que nunca se repite en un patrón. En el espacio de fase quiere decir que la

trayectoria nunca se cruza sino que continua hasta el infinito. Lo extraño reside en que no se encuentra extendida en un área infinita del espacio de fase, sino en que las trayectorias convergen hacia una figura definida, o un área de atracción. La dinámica aquí es parecida a un hilo infinitamente largo contenido en un espacio finito. ¿Cómo se hace eso? ¿Qué tipo de figura puede satisfacer tales condiciones? La respuesta se encuentra en la *geometría fractal*.

La Dimensión Fractal

La figura de un atractor extraño no es un punto fijo, una onda sinodal, ni un torus. Estos atractores son figuras de una y dos dimensiones, figuras que no pueden satisfacer nuestras condiciones. Es obvio que un atractor unidimensional no puede; y sobre una superficie bidimensional es posible que las trayectorias se crucen, por tanto posibilitan la conducta periódica. Pero tampoco puede ser el atractor tridimensional. Cualquier sistema en la naturaleza se disipa, es decir, pierde energía en el tiempo. Mientras progresa un sistema, esta pérdida se manifiesta en el espacio de fase como una contracción en el área. Como dice Kellert, debido a esta contracción, "el atractor representa la figura a la que cualquier serie inicial de puntos se acercará asimptóticamente, tal que no puede tener volumen en el espacio del estado tridimensional. Entonces, la dimensión del atractor tiene que ser menos que tres."[5] Pero también tiene que ser más que dos. El tipo de figura que describe una dimensión no-integral se llama fractal.

La palabra 'fractal' viene del latín *fractus*, que quiere decir "irregular', y fue utilizado por el matemático Benoit Mandlebrot en un intento de describir más adecuadamente la geometría del mundo que le rodeaba. Una simple ilustración de la geometría fractal es el borde dentado de la costa. En un mapa a gran escala uno podría imaginar tomando un hilo, acomodándolo entre las varias curvas, y luego mediando la distancia que consumió el hilo usando la escala que se encuentra en el mapa. Pero esto sería una medición no adecuada, pues si nos moviéramos más cerca, las líneas rectas que se encuentran en el mapa mostrarían detalles demasiado finos para la escala particular del mapa. A una escala más cercana se podría tomar una segunda medida, pero otra vez, el moverse a una escala más cercana revelaría detalles que inicialmente no pudimos ver debido a lo lejos que estábamos. El punto es que esto puede continuar indefinidamente. Donde antes había una línea recta y suave, cada aumento o cambio de escala revela detalles aún más finos. Quizás la característica más interesante de la geometría fractal es que cada una de sus escalas es autosimilar. Los bordes dentados de una piedra en la costa reflejan el mismo tipo de "dientes" que tiene la costa cuando es vista en un mapa. Es igual para la bifurcación de los vasos sanguíneos en el cuerpo, desde el vaso más grande hasta los capilares más pequeños.

Esta naturaleza iterativa de la dimensión fractal es algo que Mandlebrot descubrió cuando usó una computadora para iterar una expresión algebraica básica, C^2 + Z Empezando con valores iniciales para C y Z pide a la computadora que reasigne el

---

[5] Kellert, p. 15.

resultado como el valor de C, y luego que calcule la ecuación de nuevo, *ad infinitum*. Extrapolado matemáticamente, el resultado, modelado en una computadora, son las espirales y remolinos fantásticamente extravagantes que adornan las portadas de muchos libros sobre el tema de la teoría del caos. La situación es muy afín al reflejar un espejo frente a otro espejo. Los reflejos, autosimilares a escalas cada vez más pequeñas, parecen ir hasta la infinidad. Así funciona el atractor extraño. Dentro de una dimensión fractal es capaz de tejer trayectorias infinitas dentro de un espacio finito.

Muchos atractores distintos con variadas dimensiones fractales han sido descubiertos utilizando este método de modelar sistemas no-lineales. Al decir que un atractor tiene una dimensión fractal de un valor particular, digamos 2.6, se está describiendo un objeto geométrico, nada más. Recuerde que este objeto geométrico, el atractor, es una especie de mapa que indica cualitativamente cómo cambia la conducta de un sistema sobre el tiempo. Si dijéramos que este mapa es bidimensional, y si utilizáramos un torus para ilustrarlo, podríamos ver fácilmente cómo las trayectorias que se mueven sobre esta dimensión familiar describen la conducta de un sistema particular. Si dijéramos que este mapa tiene una dimensión fractal, sería una indicación que la figura del atractor es algo entre dos y tres dimensiones. Se puede ver la asignación de un valor fractal como una manera de medir el grado en que un atractor se entromete en el espacio tridimensional (como Kellert lo ha descrito). El atractor extraño dobla estas trayectorias infinitas en un espacio finito y el valor fractal le dice al investigador el grado con que lo hace. El valor fractal también caracteriza las propiedades de escalar del atractor, así como indicar cómo se ve el atractor a escalas de magnitud cada vez más grandes. Lo que estamos viendo cuando vemos las aglomeraciones bellas y ultramundanas de espirales en las portadas de los libros sobre el tema es una vista altamente aumentada de la estructura de un atractor extraño. Tales imágenes son llamativas porque, en primer lugar, su belleza salta a la vista. Pero esta belleza se deriva, en mayor parte, de la simetría que muestra. No importa la escala de magnificación, la particularidad observada refleja el detalle de la estructura en magnificaciones mayores. A diferencia de las concepciones populares *y* tradicionalmente científicas sobre la turbulencia caótica como algo aleatorio y sin orden, estos atractores fractales muestran una jerarquía de orden altamente definida.

De alguna manera, la teoría del caos ha hecho accesible el análisis de lo que previamente parecía incomprensible. Pero la herramienta que ha posibilitado esto, la capacidad de cálculo de computadoras de alta velocidad, ha revelado algo distinto de lo que se esperaba. Quizás es mejor decir que el matorral permanece y que el acceso logrado no es tanto uno que permite la dominación, sino que facilita la navegación. Los atractores extraños no proporcionan ninguna ecuación para la predicción exacta del estado futuro de un sistema, pero sí permiten que los investigadores entiendan cómo se comporta el sistema en su totalidad. Lo que vemos aquí es un acercamiento holístico en lugar de reduccionista, el cual descarta la concepción de la conducta caótica como anómala. Al contrario, los atractores extraños muestran que hay un método en la locura. No solamente asumen un área localizada en el espacio de fase, sino también un análisis de sus dimensiones fractales revela una autosimilaridad bien ordenada y jerárquica en todas las escalas de su estructura. Es esta característica dimensional la que hace posible la

concepción de un atractor extraño como una "infinidad limitada", y por ende lo que hace que el sistema que describe no sea tan caótico como se había pensado.

A menudo se usa la frase "imprevisibilidad local, pero estabilidad global", para caracterizar el análisis por atractores de sistemas caóticos. Por el lado negativo afirma que no podemos hacer los tipos de predicciones que se esperaban en la ciencia tradicional. Tomando el sistema del clima como ejemplo, un sistema no-lineal y por ende altamente sensible a condiciones iniciales, vemos que no se puede hacer predicciones altamente acertadas más allá de unos días en el futuro. Pero por el lado positivo, trazando el sistema del clima en su totalidad revela una conducta globalmente previsible. Es un entendimiento cualitativo, en lugar de cuantitativo, el que ganamos. Pero uno puede preguntarse, de qué uso práctico es este tipo de entendimiento si no nos puede decir nada en concreto sobre el futuro. Parece ser como un lente que nos permite ver un objeto en la distancia con más claridad, pero que no hace nada para acercarnos a él. De hecho, los insights de la teoría del caos han proporcionado a los científicos de un amplio rango de disciplinas estrategias para canalizar de manera productiva las dinámicas de la conducta caótica.[6]

Con esta primera vista a la teoría del caos podemos pasar a Peirce para ver la sorprendente relación entre los dos.

Peirce y la teoría del caos

Un primer camino de interpretación comparativa se proporciona por la crítica semejante al determinismo que informa las investigaciones de ambos Peirce y la teoría del caos. Dice Peirce, "Intente verificar cualquier ley de la naturaleza, y encontrará que entre más precisas sean sus observaciones, más cierto es que mostrarán desviaciones irregulares de la ley" (6.46). Metodológicamente, ambas teorías consideran los principios deterministas como eficaces en la explicación de un rango limitado de fenómenos, pero más allá de eso, lo inadecuado del determinismo para explicar fenómenos tales como los sistemas caóticos, por ejemplo, se ve reflejado en los presupuestos metafísicos de ambos Peirce y la teoría del caos, presupuestos que hacen que el azar y el caos sean algo más que anomalías ininteligibles, lo cual hace del determinismo una teoría inadecuada del universo en su totalidad. La teoría del caos abjura la posibilidad de una medición precisa, y por ende la predicción, porque la expresión decimal real de cualquier variable es potencialmente infinita. Es en aquella parte que no se mide, en la vaguedad inherente de toda medición, donde la conducta caótica surge, una conducta que los métodos tradicionales son incapaces de aprehender. Por debajo, por decirlo así, del rango de sistemas previsibles, se encuentra lo que la teoría del caos considera una dinámica más fundamental del universo, una compuesta de una interacción holística y dependencia entre todos los niveles de los sistemas dinámicos en el cosmos, y una caracterizada por una sensibilidad a condiciones iniciales que da al azar y a la indeterminación un papel constitutivo real en la formación del orden que descubrimos en la naturaleza.

---

[6] Véase William L. Ditto y Louis M. Pecora, "Mastering Chaos", *Scientific American* (Agosto 1993), pp. 62-8.

La consideración de Peirce concuerda completamente con esto. Respecto a las desviaciones irregulares de la ley dice,

> Estamos acostumbrados a atribuir éstas... a errores de observación; sin embargo, por lo regular no podemos explicar tales errores de ninguna manera antecedentemente probable. Rastree sus causas lo suficientemente atrás y estará forzado admitir que siempre se debe a la determinación arbitraria, o al azar (CP 6.46).

La caracterización holística del cosmos en la teoría del caos es afín a la insistencia de Peirce sobre la continuidad, su negación de unidades discretas y atomizadas cuya suma constituye el contenido del universo. Al deshacer el dualismo sujeto/objeto, mente/materia de Descartes, abrió espacio para la concepción del cosmos como una totalidad continuo cuyos varios aspectos discierne en términos de sus categorías. El carácter primordial del mundo es la Primeridad, la pura esfera de posibilidad cualitativa, que, por fines ilustrativos, podemos ver como una pura energía indiferenciada. La especificación de esta energía sobre el curso de la evolución en la Segundidad y la Terceridad, es decir, en los existentes y las leyes que los gobiernan, es la manera en que Peirce explica la formación de la ley y la variedad y diversidad del mundo que experimentamos. Pero las categorías no están completamente opuestas en su relación entre sí. Para Descartes una piedra y la mente que la conoce son cosas completamente distintas. Para Peirce, son nada más diferentes grados del continuo penetrante del cosmos. Denominó a la materia "mente débil" por lo cual quería decir que los hábitos, que definen lo que es ser una piedra por ejemplo, se han vuelto tan rígidos que han perdido su capacidad de cambiar y adaptar. Pero no son cosas fundamentalmente diferentes. Como dice,

> Tenemos que considerar la materia como mente cuyos hábitos se han tornado tan fijos de modo que pierden el poder de formarlos y perderlos, mientras que hay que considerar la mente como un genero químico de extrema complejidad e inestabilidad. Ha adquirido, en un grado sorprendente, un hábito de tomar y dejar hábitos (*CP 6*.101).

La semejanza e interconexión fundamental de los fenómenos del cosmos es en parte lo que moldea el curso del pensamiento de Peirce sobre la ley. La ley surge como resultado de la evolución, un proceso impulsado por los eventos fortuitos de la variación al azar. Rastrea la evolución de una ley lo suficientemente atrás y aquí es donde acabas, dice Peirce. Para él se articula en términos de la Primeridad. Para la teoría del caos, el fenómeno de la conducta caótica es rastreable a la dependencia sensible sobre condiciones iniciales inherentes a sistemas no-lineales. Recordando el experimento de Edward Lorenz, el cambio de la medida de tres a seis decimales produjo predicciones ampliamente divergentes de una a otra. Esto pone en tela de juicio el presupuesto determinista de que hay una relación proporcionada entre causa y efecto. Al contrario, causas muy pequeñas pueden tener efectos potencialmente mucho mayores de magnitud, lo cual refuerza la dinámica continuamente holística del mundo como entero. Peirce tocaba justamente este fenómeno muchas décadas antes del advenimiento de las computadoras de alta velocidad cuando, al discutir la intensificación del sentimiento en el protoplasma dice,

> Los hábitos son modos generales de comportamiento que son asociados con la eliminación de los estímulos. Pero cuando la eliminación esperada del estímulo no ocurre, la excitación continua y aumenta, y reacciones no habituales suceden; y éstas tienden a debilitar el hábito. Entonces, si suponemos que la materia nunca obedece sus leyes ideales con una precisión absoluta, sino que hay desviaciones fortuitas y casi insensibles de la regularidad, éstas producirán, en general, efectos igualmente minuciosos. Pero el protoplasma está en una condición extremadamente inestable; y es la característica del equilibrio inestable que, cerca de ese punto, *causas excesivamente minuciosas puedan producir efectos sorprendentemente grandes*. Aquí, entonces, las desviaciones usuales de la regularidad serán seguidas por otras que son mucho mayores; y las grandes desviaciones fortuitas de la ley que se produce tenderán aún más a desmoronar las leyes, suponiendo que éstas son de la naturaleza de los hábitos. Ahora bien, este desmoronamiento del hábito y la renovada espontaneidad fortuita, según la ley de la mente, serán acompañados por una intensificación de sentimiento (énfasis mío, CP 6.264).

El sentimiento es la palabra antropomórfica que Peirce utiliza para referirse a la Primeridad del universo, su pura posibilidad cualitativa o potencialidad. Habla de él aquí en términos de acontecimientos de estímulo/reacción de un protoplasma porque el protoplasma modela con alta precisión, en su opinión, la naturaleza química extremadamente compleja e inestable de la mente. La regularidad y previsiblidad de la ley son estables en la naturaleza pero no constituye una hegemonía. El azar-espontaneidad en el continuo del sentimiento es un evento cuya intensificación puede potencialmente trastornar la regularidad de hábitos o leyes, produciendo efectos muy desproporcionados a los esperados por el determinismo.

Es este mismo desmoronamiento de hábitos previsibles que es el objeto de estudio para los teóricos del caos. El comienzo de la conducta caótica puede entenderse, en términos peirceanos, como la interacción moderada y constante entre la Primeridad y la Terceridad del cosmos, entre el caos y el orden. Digo moderada porque claramente nuestra experiencia del mundo es en gran parte una de orden y previsibilidad, pero las leyes no son entidades estáticas. Crecen y adaptan en la dinámica evolutiva del universo, y este crecimiento es posible sólo si hay una actividad de "podar", es decir, si el azar es un componente real de esa dinámica. La conducta caótica, entonces, como los teóricos del caos lo entienden y como la especulación de Peirce parece sugerir, no es una aberración anómala sino más bien el *locus* del crecimiento dinámico y la evolución de la ley. Como tal, aun cuando no sea previsible, es racional. Como dijo Peirce, " . . . mi hipótesis de espontaneidad sí explica la irregularidad, en cierto sentido; es decir, explica el hecho general de la irregularidad, aunque no, por supuesto, lo que será cada evento sin ley" (6.60).

Aunque Peirce y la teoría del caos comparten visiones muy similares respecto al determinismo y los eventos de desviación de las predicciones de la ley, hay que hacer alguna aclaración respecto a la conexión que veo entre los dos. Aunque Peirce era un científico activo durante toda su vida, escribía como filósofo en sus especulaciones sobre la metafísica. De su propio trabajo científico como astrónomo y químico era consciente de la discrepancias que se encuentran en la medición y por ende, la manera en que las leyes no son obedecidas precisamente, pero carecía del análisis técnico que pudo haber

explicado estos en términos científicos y teóricos. En lugar de esto utilizaba el lenguaje de la filosofía. En un pasaje donde habla al respecto dice,

> La hipótesis de azar-espontaneidad es una cuyas consecuencias inevitables son capaces de ser rastreadas con una precisión matemática y con mucho detalle. He hecho mucho de esto y encuentro que las consecuencias concuerdan con los hechos observados en una medida que me parece extraordinaria. Pero la materia y el método del razonamiento son novedosos, y no tengo el derecho de prometer que otros matemáticos encontrarán tan satisfactorias mis deducciones como yo. Así que, la razón más fuerte para mi creencia tiene que quedarse, por ahora, una razón privada mía, y no puede influenciar a otros. Lo menciono para explicar mi propia posición; y en parte para indicar a especuladores matemáticos futuros una verdadera mina de oro.

Entonces al hacer una comparación entre su concepción del azar y la gama de nociones en la teoría del caos que tienen que ver con el comienzo de la conducta caótica, no estoy buscando una correspondencia técnica exacta sino más bien una alianza filosófica por la cual el pensamiento de cada uno puede ser fructíferamente enriquecido por el otro. En mi estimación, las descripciones técnicas empleadas en la teoría del caos (la dependencia sensible sobre condiciones iniciales, etc.) ofrecen el mecanismo para la variación al azar que Peirce hipotetizó, y en algún sentido se puede ver como la vena de oro a que Peirce hace referencia arriba. Peirce dejó pistas muy vagas respecto a la ubicación de una mina de oro. Yo pienso que la teoría del caos refleja un poco de ese mismo oro.

Más arriba dije que la teoría del caos concibe la conducta caótica como el *locus* para la evolución dinámica de la ley. Puede ser que esto parezca un poco engañoso, pues sin lugar a dudas la preocupación de los teóricos del caos es la de entender la conducta caótica, mientras que el énfasis para Peirce es la ley y su evolución. Peirce insistía en caracterizar su concepción global de la evolución del universo como agapístico. Dijo,

> Yo objeto a que se llame Tiquismo a mi sistema metafísico. Porque aun cuando el tiquismo tiene que ver con él, solo entra como secundario a lo que realmente es, como veo yo, la característica de mi doctrina, a saber, que insisto principalmente en la continuidad o Terceridad (*CP 6.*202)

Aunque Peirce y la teoría del caos obviamente enfatizan preocupaciones distintas, algunos teóricos del caos han reconocido las implicaciones metafísicas posibles de la conducta caótica de tal manera que aprecian la noción evolutiva de la ley que Peirce caracteriza.

En lo expuesto hasta ahora mi intención principal ha sido la de mostrar los modos muy similares en los que Peirce y la teoría del caos tratan la naturaleza de los sistemas dinámicos. Los dos hacen notar que hay desviaciones aparentemente anómalas en los sistemas dinámicos que no se explican por la leyes deterministas clásicas. Ambos ven que las leyes no son obedecidas precisamente y que la medición exacta es imposible. Los dos tratan de explicar esto en términos del papel de la variación al azar. Ambos enfatizan que la irrupción espontánea de la conducta no prevista no es el límite estadístico de una ley determinista, sino que más bien no es gobernado en absoluto por la ley. De acuerdo con

su categoría de la Primeridad Peirce denominó esto 'el azar' o 'la espontaneidad'. Esto fue su hipótesis de alguna agencia por la cual ocurre la desviación de la ley, y por ende por la que las regularidades se cambian y se desarrollan. La teoría del caos llama a esta desviación de la ley 'conducta caótica' y en su intento de explicarla, de explicar esta 'agencia' como lo llama Peirce, ha elaborado las nociones finamente detalladas de 'dependencia sensible sobre condiciones iniciales', 'la retroalimentación iterativa', y 'los atractores fractales', los mecanismos teóricos por los cuales el azar en el universo juega su papel. Aun cuando Peirce habla de la espontaneidad en los términos filosóficos más generales, parece claro que es algo muy afín a este fenómeno que la teoría del caos ha intentado entender.

Citando a Peirce otra vez, su tiquismo, "explica el hecho general de irregularidad, aunque no, por supuesto, lo que será cada evento sin ley." Con esta afirmación paso a lo que considero como la parte verdaderamente ilustrativa de mi exposición de Peirce vía la teoría del caos, la noción del atractor extraño. Se puede entender la afirmación de Peirce arriba mencionada como una formulación cualitativa en lugar de cuantitativa, una que provee una explicación general en lugar de una precisa. Es un *gestalt*, por decirlo así, en lugar de un cálculo. "Lo que será cada evento sin ley" es una determinación imposible de lograr. Es con este insight que los teóricos del caos se acercan a un entendimiento de la conducta caótica. El fenómeno de la dependencia sensible sobre condiciones iniciales proporciona la base teórica para entender el comienzo de la conducta caótica, pero es el modelarlo en un atractor extraño que ahora nos permite verlo como más que algo aberrante. Quizás fue justamente tal desarrollo que W. B. Gallie, escribiendo en 1952, vio como algo que proporcionaría a los alumnos futuros de la filosofía las herramientas necesarias para apreciar la hipótesis de Peirce. Dice,

> Parece razonable asumir, dado el progreso científico continuado y la discusión general inteligente sobre los resultados científicos, que dentro de pocas décadas la clase de distinción hecha por Peirce entre las leyes que gobiernan procesos reversibles y las que gobiernan procesos irreversibles habrá sido suficientemente generalizados y aclarados como para aplicarse lo que actualmente son casos límites. Luego sería posible que habláramos con más claridad sobre la distinción que todos reconocemos vagamente, entre aquellas ciencias cuyas leyes son primariamente (si no exclusivamente) de un carácter previsor – ciencias que podríamos describir como 'nomic' – y aquellas ciencias cuyas leyes sirven primariamente, no para hacer predicciones, sino para unificar o "espesar" nuestras concepciones de distintos hilos de la historia cósmica, terrenal, biológico, o humano – ciencias que podríamos describir como 'gonic' en lugar de 'nomic'. Si se probara como cierta esta suposición, entonces sería mucho más fácil que futuros alumnos de la filosofía aprecien el valor de la cosmología de Peirce que para nosotros.[7]

La distinción que Peirce hipotetizó ha sido realizada en el trabajo de la teoría del caos. Así que, pasemos ahora al atractor extraño para ilustrar la clase de universo que Peirce concibe.

La convergencia real de la opinión a largo plazo sirve en la lógica de la investigación de Peirce solamente como un ideal regulativo. Fue solamente con tal

[7] Gallie, W.B., *Peirce and Pragmatism*, (New York: Dover Publications, Inc.), 1966, p. 238.

esperanza que Peirce podría concebir que la investigación lograra sus fines. Pero, ¿qué es este fin sino la resolución de la opinión, la resolución *completa* de la opinión? Si nunca se logra este punto, entonces ¿cómo se logran los fines de la investigación? Si una resolución no realizable de la opinión es el fin, ¿qué, a fin de cuentas, es lo que se logra realmente? O con más exactitud, ¿cómo tiene que ser la naturaleza de lo Real, el 'interpretante lógico final' que la investigación investiga, si la realización de tal fin está fuera de cualquier consideración?

Lo que Peirce nos dice es que este Real consiste de por lo menos dos elementos, la Espontaneidad y la Ley, interactuándo dentro de una matriz evolutiva de crecimiento y desarrollo. La ley, o la tendencia generalizadora, implica en sí misma un movimiento teleológico hacia la perfección, hacia la predominancia de la Terceridad en el universo. Pero la realidad categorial de la Espontaneidad condiciona este movimiento, haciendo que la ley sea algo nunca precisamente configurado, sino sólo aproximadamente. Entonces, las leyes que la ciencia trata de descubrir en la investigación no son entidades estáticas, permanentemente instaladas en la figura del cosmos. Aunque en mayor parte estables, son dinámicas y siempre evolucionando por muy pequeño que sea el grado; y no cristalizarán como un diamante en algún punto futuro. Para Peirce tal punto era desprovisto de vida, un estado incompatible con la vitalidad y la energía del universo. La razón por la que identificó lo real con la *opinión* final de la comunidad de investigadores era porque vio los hábitos de inferencia de los seres humanos como coextensivos con los hábitos o leyes por medio de los cuales el universo opera. En un sentido muy real, siguiendo a Aristóteles, *somos* lo que sabemos. Entonces, hipotetizar una terminación absoluta de la investigación sería concebir, no sólo la completa racionalización del universo, sino también la terminación de la condición humana.

Lo real es una noción, por tanto, que tiene que responder a las condiciones de la vida y del crecimiento como concebidos en la metafísica de Peirce. Tiene que ser inteligible, lo cual quiere decir que tiene que ser general, pero puede ser así sólo de manera aproximada. El que siempre habrá un elemento no inteligible es el precio que se paga para el crecimiento y el desarrollo del universo. Lo que su noción de lo real hace, entonces, es combinar el azar y el orden en una relación delicada pero armoniosa que, por un lado, ofrece a la investigación algo más determinado que el azar ciego para guiar su curso, y por el otro, provee las condiciones mediante las cuales la espontaneidad es capaz de sostener la vitalidad del cosmos. Si preguntáramos, como investigadores en la dinámica de sistemas, qué figura tiene el cosmos como sistema en el espacio de fase, creo que la respuesta sería algo como un atractor extraño.

Recordemos que la figura de un atractor extraño es lo que los teóricos del caos llaman un fractal. Su configuración particular, que se encuentra en algún punto entre dos y tres dimensiones, y sus propiedades únicas de escala, lo hacen capaz de acomodar trayectorias infinitas dentro de un espacio finito. Aunque las trayectorias nunca se repiten sobre un atractor extraño, sin embargo, son atraídos a su figura particular. Proporciona a los investigadores una manera cualitativa de entender la conducta caótica, de ver orden en lo que parece ser nada más aleatorio y arbitrario. De la misma manera, podemos concebir la colección de leyes dinámicas que constituyen la visión de Peirce del

cosmos. Dentro de un ámbito limitado y con un cierto rango de eficacia, se puede entender varias leyes de manera determinista, lo cual significa que al usarlas se pueden hacer predicciones altamente precisas. Pero, considerando el cosmos en su totalidad, la mejor manera de explicar las irregularidades de sistemas que de otra manera son deterministas y regulares es la de concebir la dinámica entre la espontaneidad y la ley como describiendo la figura fractal de un atractor extraño. Con esta hipótesis, como dijo Peirce, se explica el hecho general de la irregularidad, "aunque no, por supuesto, lo que será cada evento sin ley" (*CP* 6.60). Nuestras capacidades previsoras pueden correr las profundidades del universo solamente hasta cierto punto. Más allá de eso nos encontramos con las energías activas y creativas del universo mismo en su crecimiento y expansión. Pero, con los insights de Peirce y la teoría del caos, el caos o ininteligibilidad inherente en la estructura del universo es entendido de una nueva manera. No solamente es explicable teóricamente, sino que es comprensible prácticamente. El atractor extraño da a los investigadores información cualitativa sobre los sistemas en su totalidad y, como he mencionado, el mayor entendimiento sobre los principios que gobiernan el comienzo de una conducta caótica ha proporcionado estrategias para controlar el caos para el beneficio de la necesidad humana.

Mi hipótesis es que el modelo del atractor extraño provee una manera fructífera para caracterizar la relación entre la ley y la espontaneidad en la metafísica de Peirce. El concebir el sistema de leyes físicas como describiendo un atractor extraño en el espacio de fase rinde poder explicativo a la combinación de la espontaneidad y la ley como dos manifestaciones reales de la estructura del cosmos. Es una concepción en la que la ley es perdurable, y por ende capaz de responder a las demandas de la investigación, mientras que a la vez es adaptativa y abierta a las iniciativas de crecimiento dadas por los acontecimientos de Espontaneidad.